

*В.Ю. Чиркова, И.Е. Стась, А.П. Бессонова*

### **Изменение поверхностного натяжения воды и водных растворов бутанола в результате воздействия электромагнитного поля**

*V.Yu. Chirkova, I.E. Stas, A.P. Bessonova*

### **Changes of Surface Tension of Water and Butanol Aqueous Solutions Being Exposed by Electromagnetic Field**

Показано, что воздействие на дистиллированную воду высокочастотного электромагнитного поля приводит к увеличению ее поверхностного натяжения на границе с воздухом. Поверхностное натяжение водных растворов бутанола в результате облучения снижается. Эффективность полевого воздействия зависит от частоты и времени облучения.

**Ключевые слова:** поверхностное натяжение, поверхность раздела, поверхностно-активные вещества, поверхностная активность, адсорбция.

Свойства воды весьма резко отличаются от всех других известных жидкостей. Существуют различные структурные модели воды, их объединяющей основой является утверждение о наличии в ее структуре как отдельных (независимых) молекул, так и объединенных различными связями, образующих динамически развивающиеся кинетические образования. Такое положение обуславливает наличие множества переменных состояний воды, а следовательно, и проявление разнообразных свойств, в том числе и аномальных. В то же время можно утверждать, что особенности структурного строения воды и ее метастабильность позволяют последней значительно откликаться на внешнее воздействие любой природы. Многократно проверенные факты свидетельствуют, что даже малые энергетические воздействия приводят к существенному изменению физико-химических свойств водных систем, обуславливают сдвиги энергетических параметров последующих физико-химических процессов, в десятки раз превышающих сообщенную веществу энергию активирующего воздействия. Экспериментально установлено, что реакционная способность воды и водных растворов может существенно изменяться после воздействия на них различных факторов (температуры, ультразвука, переменного и постоянного магнитного поля, электромагнитных волн, инфразвука, акустических волн и т.д.) [1, с. 118; 2, с. 128; 3, с. 3–8; 4, с. 71–76; 5, с. 90; 6, с. 99–118]. К настоящему времени накопилось достаточно много экспериментальных данных, убедительно

It is shown that exposure of high-frequency electromagnetic field on distilled water increases the surface tension at the boundary with air. The surface tension of butanol aqueous solutions is reduced as a result of irradiation. The effectiveness of field action depends on the frequency and time of exposure.

**Key words:** superficial tension, interphase, surface-active substances, superficial activity, adsorption.

доказывающих эффективность применения внешних полей при осуществлении различных физико-химических процессов. Зафиксированы изменения структурных, оптических, кинетических, магнитных и других физико-химических свойств исследуемых систем [7, с. 25–31; 8, с. 301–303; 9, с. 63; 10, с. 1133–1135; 11, с. 2087–2092; 12, с. 567–568; 13, с. 84].

Вместе с тем большинство исследований посвящено изучению изменения объемных свойств воды и водных растворов в результате полевых воздействий, тогда как любое изменение межмолекулярного взаимодействия в объемной фазе не может не сказаться на изменении поверхностных свойств жидкости.

Цель данной работы – оценить влияние электромагнитного поля на поверхностное натяжение воды и водных растворов бутанола и эффективность полевого воздействия в зависимости от частоты и времени экспозиции.

В работе использована дистиллированная вода (электрическое сопротивление 330 кОм) и водные растворы бутанола марки «хч» концентрацией 0,025–0,2 моль/л, приготовленные объемным способом.

Поверхностное натяжение  $\sigma$  определяли сталагмометрическим методом. Расчет проводили по уравнению

$$\sigma_x = \sigma_0 (m_x/m_0),$$

где  $m_0$  и  $m_x$  – масса капли воды и раствора поверхностно-активных веществ соответственно;  $\sigma_x$  – поверхностное натяжение облученной воды или раствора бутанола;  $\sigma_0$  – поверхностное натяжение воды при соответствующей температуре.

Облучение воды и растворов бутанола проводили в тefлоновой ячейке емкостного типа объемом 20 мл с аксиально расположенными электродами. Высокочастотное электромагнитное поле подавали на ячейку от генератора ГЗ-19А с варьируемой в диапазоне 100–200 МГц частотой и выходной мощностью 1 Вт.

Проведенные исследования позволили установить увеличение поверхностного натяжения дистиллированной воды, зависящее от частоты и времени воздей-

ствия поля. На рисунке 1а представлена его зависимость от времени облучения полем частотой 130 МГц. Наблюдалось постепенное увеличение поверхностного натяжения воды на протяжении 150 минут. За время облучения  $\sigma$  увеличилась на 4%, что статистически значимо. Одновременно с изменением поверхностной энергии происходило и изменение объемных характеристик – так, электропроводность за время облучения увеличилась почти в 3 раза (рис. 1б).

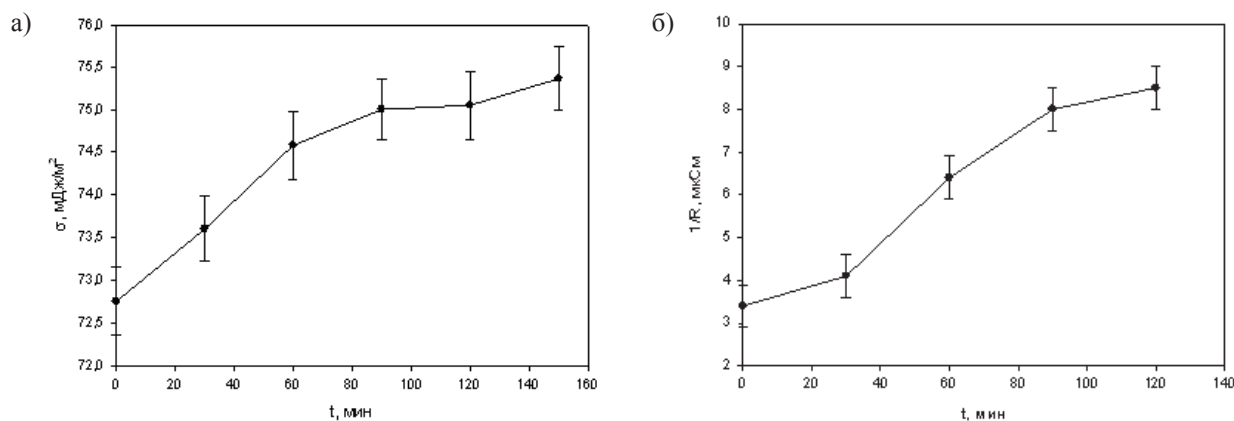


Рис. 1. а, б – зависимости поверхностного натяжения и электропроводности дистиллированной воды от времени облучения ( $f = 130$  МГц,  $t = 23$  °С)

Ранее было установлено [14, с. 2345–2349], что зависимость объемных свойств воды, таких как электропроводность, рН, окислительно-восстановительный потенциал, от частоты поля носит полиэкстремальный характер. Максимальное изменение измеряемых параметров наблюдалось при частотах 110, 150, 170 МГц. Аналогичная картина установлена и при измерении поверхностного натяжения воды, облученной полем различной частоты. В результате воздействия поля  $\sigma$  значима возрастала на 1–5% ( $t_{\text{обл}} = 180$  мин). Максимальное увеличение  $\sigma$  наблюдалось при частотах 150 и 170 МГц (рис. 2).

Поверхностное натяжение на границе жидкости с газовой фазой можно представить как работу переноса молекул из объема на поверхность. Так как поверхностное натяжение связано с работой, расходуемой на разрыв межмолекулярных связей, то оно ими и обусловлено. Чем сильнее межмолекулярные связи в жидкой фазе, тем больше поверхностная энергия на границе с газом [15, с. 39–56]. Следовательно, статистически значимое увеличение поверхностного натяжения воды (рис. 1а) подтверждает гипотезу об упрочнении ее надмолекулярной структуры в результате полевого воздействия. Несмотря на кажущуюся незначительность наблюдаемых эффектов ( $\sigma$  возрастает на 2–3 мДж/м<sup>2</sup>), полученные результаты свидетельствуют о весьма значительном возрастании упорядоченности водной структуры. Так, температур-

ный коэффициент поверхностного натяжения воды составляет 0,154 мДж/м<sup>2</sup>К [14, с. 2345–2349], а это означает, что при понижении ее температуры на 10 К  $\sigma$  возрастает на 1,54 мДж/м<sup>2</sup>К. Вероятно, при понижении температуры имеет место замораживание воды, увеличение доли ассоциированных молекул. Изменения поверхностного натяжения происходят постепенно в течение нескольких часов, что свидетельствует об аккумуляции водой энергии электромагнитного поля. Следует отметить, что изменение поверхностной энергии идет одновременно с изменением объемных свойств воды, в частности электропроводности (рис. 1б). Вид кинетических кривых совпадает, что указывает на взаимосвязь поверхностных и объемных характеристик изучаемой системы.

Поскольку любая система стремится к минимуму энергии, увеличение  $\sigma$  воды в результате электромагнитного воздействия должно компенсироваться повышением адсорбции поверхностно-активных веществ, которая снижает энергию на границе раздела фаз. Данная гипотеза была проверена экспериментально на примере бутанола, относящегося к типичным поверхностно-активным веществам благодаря дифильному строению его молекул. Водные растворы бутанола ( $C = 0,025$  М) облучали полем различной частоты и измеряли поверхностное натяжение. Каждая порция спирта подвергалась воздействию поля только одной частоты. Снижение поверхностно-

го натяжения раствора спирта происходило в течение первых 15–30 мин электромагнитного воздействия. Дальнейшее облучение не приводило к изменению измеряемой величины.

Для раствора бутанола ( $t_{\text{обл}} = 30$  мин;  $C = 0,025$  М) максимальное снижение поверхностного натяжения наблюдалось при частотах 130 и 150 МГц. Для дальнейших исследований выбрана частота 130 МГц, так как после воздействия поля именно этой частоты поверхностное натяжение раствора бутанола снижалось в максимальной степени – на 3,7% (рис. 3).

Определено поверхностное натяжение растворов бутанола пяти концентраций до и после облучения электромагнитным полем (130 МГц) в течение 30 мин. На основании проведенных экспериментов были построены изотермы поверхностного натяжения, представленные на рисунках 4 и 5.

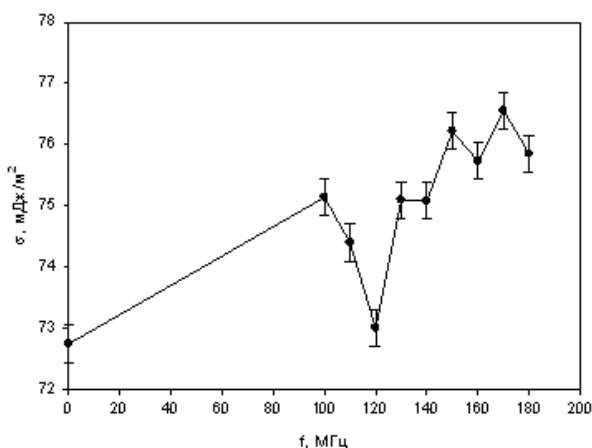


Рис. 2. Зависимость поверхностного натяжения воды от частоты электромагнитного поля ( $t_{\text{обл}} = 180$  мин;  $t = 22$  °С)

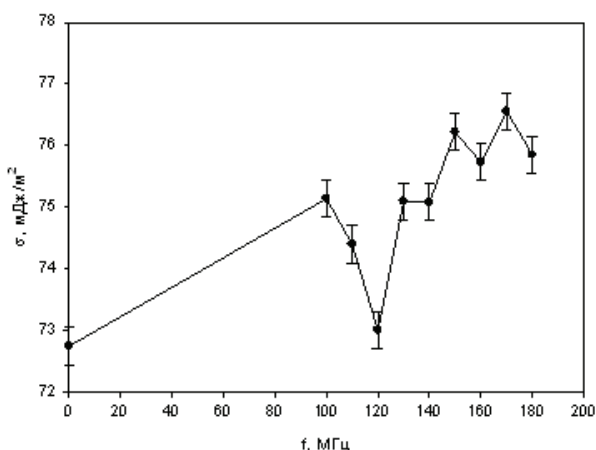


Рис. 3. Изменение (%) поверхностного натяжения раствора бутанового спирта, облученного электромагнитным полем различной частоты ( $t_{\text{обл}} = 30$  мин;  $C = 0,025$  М;  $t = 23$  °С)

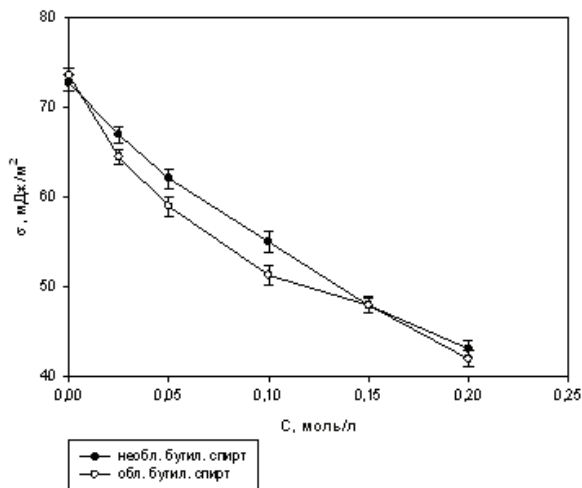


Рис. 4. Изотермы поверхностного натяжения для облученных и необлученных растворов бутанового спирта ( $t_{\text{обл}} = 30$  мин;  $f = 130$  МГц;  $t = 23$  °С)

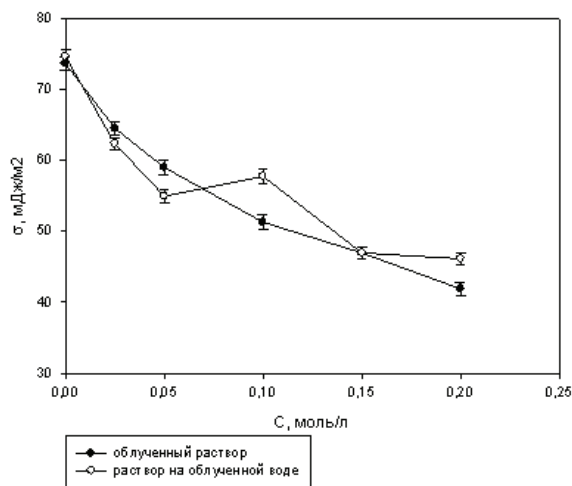


Рис. 5. Изотермы поверхностного натяжения облученных растворов бутанового спирта и растворов, полученных на облученной воде ( $f = 130$  МГц;  $T = 20-23$  °С)

Поверхностное натяжение облученных растворов снижалось в результате электромагнитного воздействия во всем изученном диапазоне концентраций, что свидетельствует о повышении поверхностной активности спирта.

Следует отметить, что величина  $\Delta\sigma/\sigma$  (%) для облученных и необлученных растворов бутанола заданной концентрации  $C = 0,025$  М (рис. 3) несколько ниже  $\Delta\sigma/\sigma$  для облученной и необлученной воды (рис. 2). Однако если рассчитать так называемое поверхностное давление  $\pi = \sigma_0 - \sigma$  (где  $\sigma_0$  – поверхностное натяжение воды, а  $\sigma$  – поверхностное натяжение раствора спирта), то различия между облученными и необлученными растворами спирта возрастают от 6 до 37%. В наибольшей степени поле воздействует на самые разбавленные растворы (табл.).

Изменение поверхностного давления растворов бутанола в результате облучения ( $f = 130$  МГц,  $t_{\text{обл}} = 30$  мин)

С, моль/л	0,025	0,05	0,1	0,15	0,2
$\Delta\pi_{\text{бутил.}}\%$	36,6	27,5	20,5	6,7	6,3

Дополнительно проведен следующий эксперимент. Воду облучали полем частотой 130 МГц в течение пяти часов, добавляли различные объемы бутанола для получения растворов соответствующей концентрации и измеряли поверхностное натяжение. Параллельно проводили контрольный опыт с необлученной водой. Результат воздействия поля на растворы

бутанола и на воду с последующей добавкой бутанола оказался практически одинаков, о чем свидетельствует незначительное расхождение соответствующих изотерм поверхностного натяжения (рис. 5).

Таким образом, можно с достаточной степенью вероятности утверждать, что поле воздействует, в первую очередь, на структуру воды, изменяя тем самым характер и степень взаимодействия молекул воды и молекул растворенных в ней веществ. Следовательно, можно говорить об усилении гидрофобной гидратации в результате электромагнитного воздействия, что и приводит к «выталкиванию» молекул поверхностно-активных веществ из объема раствора на поверхность, т.е. к увеличению адсорбции спирта.

### Библиографический список

1. Мокроусов Г.М. Физико-химические процессы в магнитном поле. – Томск, 1988.
2. Классен В.И. Омагничивание водных систем. – М., 1982.
3. Плеханов Г.Ф. // Материалы Всесоюзного симпозиума. – Томск, 1984.
4. Гапочка Л.Д. Воздействие электромагнитного излучения КВЧ- и СВЧ-диапазонов на жидкую воду // Вестник МГУ. – Сер.: Физ. астрон. – 1994. – Т. 35, №4.
5. Персидская А.Ю. О влиянии импульсного магнитного поля на механические свойства полимерных волокон // Журнал химической физики. – 2002. – №2.
6. Бучаченко А.Л. Химия на рубеже веков. Свершения и прогнозы // Журнал успехи химии. – 1999. – Т. 68, №2.
7. Железцов А.В. Магнитные явления в растворах // Электронная обработка материалов. – 1976. – №4.
8. Киргинцев А.Н., Соколов В.М., Ханаев В.И. К вопросу о влиянии магнитного поля на физико-химические свойства растворов // Журнал физической химии. – 1968. – Т. 48.
9. Миненко В.И., Петров В.И. О физико-химических основах магнитной обработки воды // Теплоэнергетика. – 1962. – Т. 9.
10. Красиков Н.Н., Шуваева О.В. Действие электромагнитного поля на жидкости, осуществляемое без контакта с потенциалоадающими электродами // Журнал физической химии. – 2000. – Т. 74, №6.
11. Лобанов А.И., Старожилова Т.К., Черняев А.П. Параметрический резонанс и формирование диссипативных структур в растворах электролитов при воздействии периодического электрического поля // Журнал физической химии. – 2000. – Т. 74, №11.
12. Красиков Н.Н. Влияние электрического поля на ионный состав водных растворов // Журнал физической химии. – 2002. – Т. 76, №3.
13. Наберухин Ю.И. Структурные модели жидкостей. – Новосибирск, 1981.
14. Стась И.Е., Бессонова А.П., Михайлова О.П. Влияние высокочастотного электромагнитного поля на физико-химические свойства дистиллированной воды // Журнал физической химии. – 2010. – Т. 84, №12.
15. Фролов Ф.Г. Курс коллоидной химии. – М., 1989.
16. Самойлов О.Я. Структура водных растворов электролитов и гидратация ионов. – М., 1957.